



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

NÁVRH A KONSTRUKCE LINEÁRNÍHO HYDROMOTORU

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A LINEAR HYDRAULIC MOTOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MARTIN MELICHAR

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ MERENUS

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2014/15

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Melichar

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh a konstrukce lineárního hydromotoru

v anglickém jazyce:

Design and construction of a linear hydraulic motor

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je řešerše v oblasti lineárních hydromotorů, výpočet a návrh konstrukce lineárního hydromotoru. Součástí práce je také vytvoření 3D modelu a výkresové dokumentace pro vybranou součást nebo celek.

Cíle bakalářské práce:

- Řešerše v oblasti lineárních hydraulických mechanismů
- Návrh a výpočet lineárního hydromotoru
- Konstrukce hydraulického pohonu a vytvoření 3D modelu
- Výkresová dokumentace vybraného dílce



Seznam odborné literatury:

Vaďura, J.: Hydraulické a pneumatické mechanismy, skriptum FS VUT v Brně

Pivoňka, J.: Tekutinové mechanismy


Firemní literatura

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ondřej Merenus

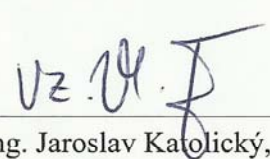
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně, dne 20.11.2014





prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou lineárních hydromotorů. První část tvoří odbornou rešerši v oblasti lineárních hydromotorů. Druhá se zaměřuje na konstrukci lineárního hydromotoru včetně všech potřebných výpočtů. Součástí práce je také výkresová dokumentace obsahující celkovou sestavu lineárního hydromotoru a výkresy víka a dna.

KLÍČOVÁ SLOVA

Lineární hydromotor, hydraulický válec, píst, konstrukce, těsnění, mechanismus

ABSTRACT

This bachelor's thesis is interested in linear hydraulic motors. The first part consist of technical research in the field of linear hydraulic motors. The second part focuses on the construction of linear hydraulic motors including all necessary calculations. The thesis also includes technical drawings containing the total linear hydraulic motor assembly with the drawings of the top and bottom cover.

KEYWORDS

Linear hydraulic motor, hydraulic cylinder, piston, construction, seals, mechanism

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MELICHAR, M. *Návrh a konstrukce lineárního hydromotoru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 39 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Ondřej Merenus.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Ondřeje Merenuse a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2015

.....

Martin Melichar

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce, kterým je Ing. Ondřej Merenus za velmi cenné rady a připomínky. Dále bych chtěl také poděkovat své rodině a všem přátelům, kteří mě podporovali v průběhu studia.

OBSAH

Úvod	11
1 Tekutinové mechanismy	12
1.1 Rozdíly mezi hydraulickými a pneumatickými mechanismy	12
2 Prvky hydraulických mechanismů	13
3 Rozdělení hydromotorů	14
3.1 Lineární hydromotory	14
3.2 Rotační hydromotory	14
3.3 Hydromotory s kyvným pohybem	15
4 Typy lineárních hydromotorů	16
4.1 Lineární hydromotory s jednostrannou pístnicí	16
4.2 Lineární hydromotory s oboustrannou pístnicí	16
4.3 Lineární hydromotory několikastupňové	17
4.4 Rotující hydromotory s lineárním pohybem (upínací válce)	18
4.5 Membránové lineární hydromotory	18
4.6 Bezpístnicové lineární hydromotory (rodless)	18
5 Upevnění lineárního hydromotoru	19
6 Konstrukce dvojčinného lineárního hydromotoru	20
6.1 Válec	20
6.2 Píst	20
6.3 Pístní tyč (pístnice)	20
6.4 Víko	21
6.5 Těsnění	21
6.5.1 Statická těsnění	21
6.5.2 Hydraulická těsnění	22
6.6 Vodicí pásy (kroužky)	23
6.7 Tlumení	24
6.8 Montáž a skladování	24
6.8.1 Doporučení pro montáž	24
6.8.2 Doporučení pro skladování těsnění	25
7 Výpočet lineárního hydromotoru	26
7.1 Zadané parametry	26
7.2 Pístnice	26
7.2.1 Kontrola na vzpěr	27
7.3 Píst	28
7.4 Skutečné hodnoty	28

7.5	Redukovaný tlak p_1	29
7.6	Válec.....	29
7.7	Provozní parametry	29
7.8	Těsnění	30
7.8.1	Pístní těsnění	30
7.8.2	Pístnicové těsnění.....	30
7.8.3	Stírací kroužek	31
7.8.4	Vodící pásy	31
7.9	Upevnění hydromotoru.....	32
7.10	Tlumení hydromotoru v koncové poloze.....	33
7.11	Víko a dno válce	33
Závěr		34
Použité informační zdroje		35
Seznam použitých zkratk a symbolů		37
Seznam příloh		39

ÚVOD

V této bakalářské práci bych se rád věnoval rešerší v oblasti hydraulických prvků, především lineárních hydromotorů, jejich typy a konstrukční řešení lineárních hydromotorů. V druhé části bych se rád věnoval vlastnímu řešení lineárního hydromotoru podle zadaných parametrů a jeho výpočtu.

Hydraulické prvky, jsou velice rozšířené a to jak v průmyslu, stavebnictví, zemědělství a při manipulaci s materiálem, ale i v dopravě. Hlavně kvůli malé velikosti součástí a vysokým silám, které tyto součásti vyvozují. Slouží k pohonu strojů, regulaci jejich výkonu a rychlosti. Hydraulika je velice spjata s elektronikou, kdy elektronika řídí funkci, kterou hydraulika zajišťuje. [6]

Vynálezcem prvního hydromotoru byl britský technik William Georges Armstrong. Ten se nechal inspirovat vodním kolem, u kterého viděl nevyužitý potenciál, k výrobě prvního rotačního hydromotoru. Poté použil s Josephem Bamahem Pascalovy zákony k vynálezům, kde byl využit lineární hydromotor, jako je roku 1795 hydraulický lis. Mezi nejznámější Armstrongovy vynálezy patří hydraulický akumulátor. [12]

1 TEKUTINOVÉ MECHANISMY

Tekutinový mechanismus je libovolná dynamická soustava, která umožňuje ovládat a přenášet energii z tekutiny na energii mechanickou nebo zpět. Tekutinové mechanismy se dělí na hydraulické a pneumatické.[1]

1.1 ROZDÍLY MEZI HYDRAULICKÝMI A PNEUMATICKÝMI MECHANISMY

Hydraulické a pneumatické mechanismy si jsou velice podobné, používají obdobné konstrukce. Hlavním rozdílem je pracovní médium, u hydrauliky je to kapalina (minerální oleje, směsi vody a různých kapalin, nehořlavé kapaliny a syntetické kapaliny), kdežto u pneumatiky je to plyn (vzduch, dusík, CO₂ nebo argon). A kapalina je oproti plynu „nestlačitelná“.[1]

Tab. 1 Přehled rozdílů mezi hydraulikou a pneumatikou [1]

	Hydraulika	Pneumatika
Maximální tlak	20-30 MPa	0,6-1,8 MPa
Citlivost na změny zatížení	Malá	Velká
Zdvihové rychlosti	Jednotky m·s ⁻¹	Až několik desítek m·s ⁻¹

2 PRVKY HYDRAULICKÝCH MECHANISMŮ

Hydrostatické převodníky

Hydrogenerátory

- zubové
- lamelové
- pístové

Hydromotory

- rotační
- přímočaré
- s kyvným pohybem

Prvky pro řízení tlaku

Tlakové ventily

- pojistné
- přepouštěcí

Redukční ventily

Prvky pro řízení velikosti průtoku – škrticí ventily

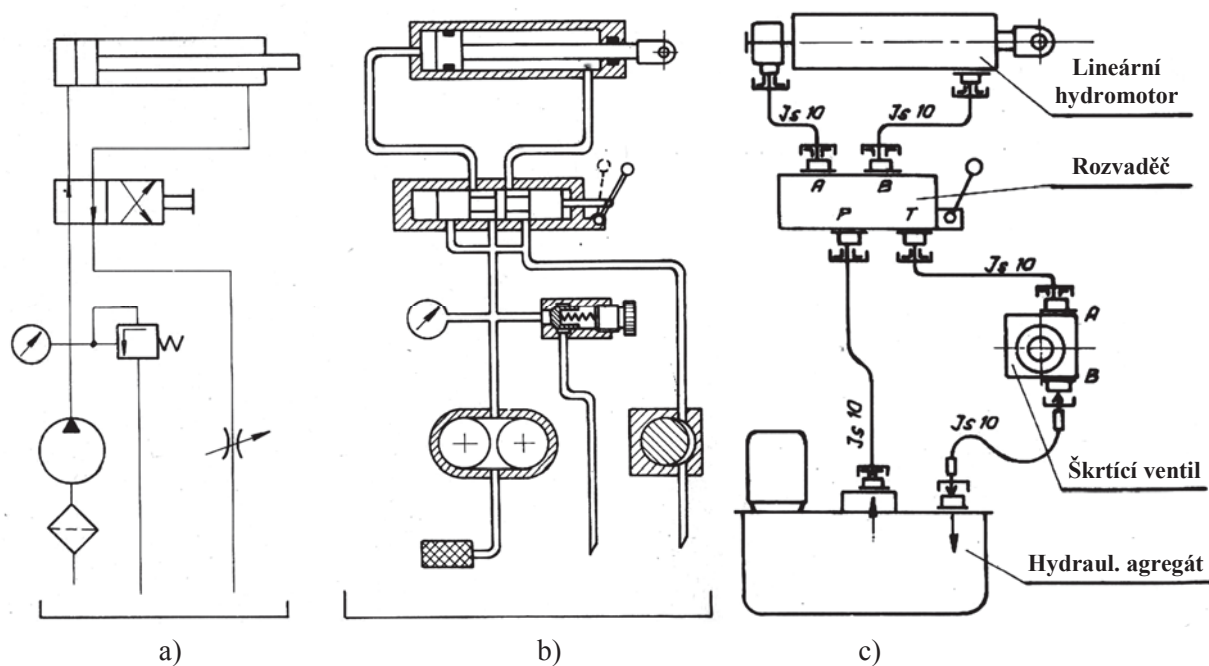
Prvky pro řízení směru průtoku

- jednosměrné ventily
- rozvaděče

Proporcionální prvky

- pro řízení tlaku
- pro řízení průtoku

Pomocné prvky – nádrže, čističe kapalin, vedení kapalin a spojovací prvky, těsnění atd.

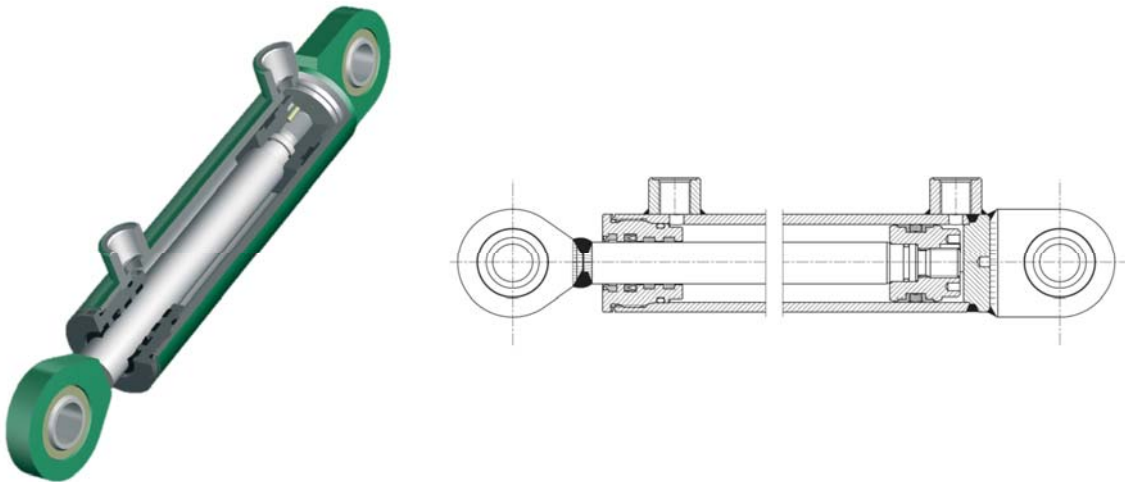


Obr. 1 Schéma hydraulického obvodu a) funkční, b) pasportové, c) montážní [2]

3 ROZDĚLENÍ HYDROMOTORŮ

3.1 LINEÁRNÍ HYDROMOTORY

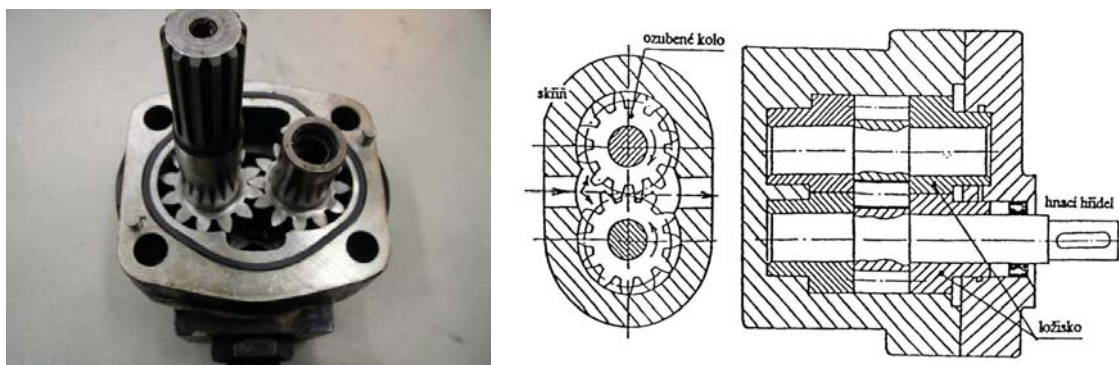
Lineární (přímočaré) hydromotory (Obr. 2) se někdy nazývají hydraulické válce. Slouží k přeměně tlakové energie hydraulické kapaliny na mechanickou práci přímočarého pohybu. Děje se tak pomocí pístu ve válci, na který působí tlak hydraulické kapaliny, jenž nutí píst k pohybu. Mezi nejzákladnější způsob jak můžeme tyto hydromotory rozdělit je podle pracovního způsobu na jednočinné a dvojčinné. [2, 3, 4]



Obr. 2 Dvojčinný lineární hydromotor [16]

3.2 ROTAČNÍ HYDROMOTORY

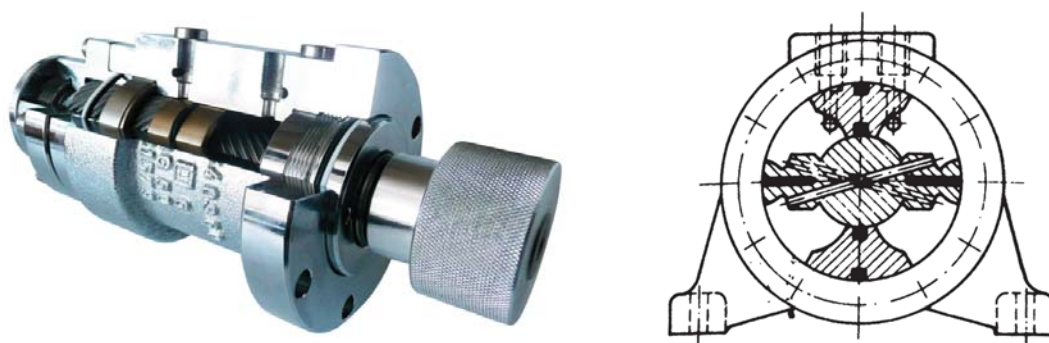
V rotačních hydromotorech (Obr. 3) se převádí tlaková energie hydraulické kapaliny na rotační pohyb. Rotační hydromotory rozlišujeme na zubové, lamelové a pístové. Mezi konstrukcí rotačních hydromotorů a hydrogenerátorů není ve skutečnosti žádný rozdíl, proto se většinou tyto zařízení označují jako hydraulické převodníky a je na uživateli, jestli dané zařízení zapojí jako hydrogenerátor nebo hydromotor. [3]



Obr. 3 Zubový hydromotor [18, 19]

3.3 HYDROMOTORY S KYVNÝM POHYBEM

Hydromotory s kyvným pohybem (Obr. 4) se používají k rotačnímu pohybu menšímu než je 360° , většinou do 300° . Hydraulická kapalina působí na jednu či druhou stranu lopatky, a tím vyvozuje krouticí moment. Existují hydromotory jednolopátkové, či více lopátkové. Používají se při provozních tlacích 1,5 až 20 MPa. [1, 2, 5]



Obr. 4 Hydromotor s kyvným pohybem [1, 17]

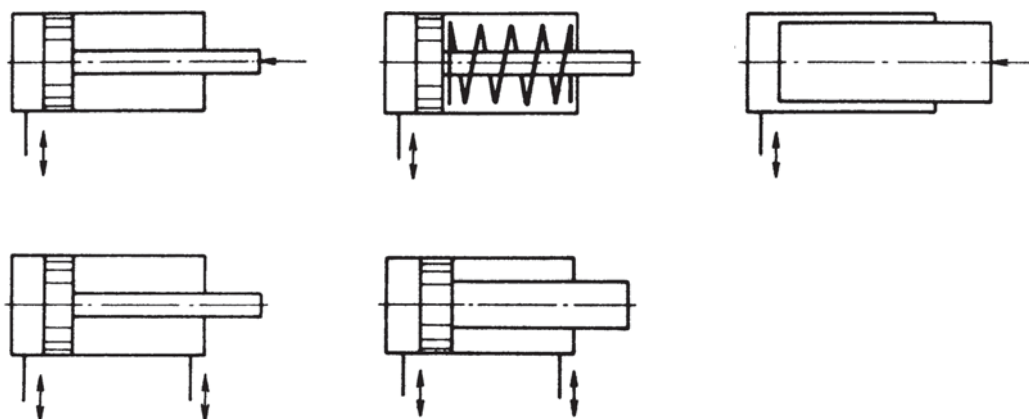
4 TYPY LINEÁRNÍCH HYDROMOTORŮ

4.1 LINEÁRNÍ HYDROMOTORY S JEDNOSTRANNOU PÍSTNICÍ

Mezi nejznámější zástupce lineárních hydromotorů jsou lineární hydromotory s jednostrannou pístnicí. Tyto hydromotory rozlišujeme podle pracovního způsobu na jednočinné, které vykonávají práci pouze v jednom směru, a dvojčinné, které vykonávají práci v obou směrech. [1]

U jednočinných hydromotorů pracovní pohyb způsobuje tlak kapaliny a vratný pohyb pístu může provádět buď vnější síla (zátěž) (Obr. 5a) nebo pružina (Obr. 5b). Zvláštním typem jednočinných hydromotorů je hydromotor s plunžrem (Obr. 5c), kdy vnější průměr pístnice je téměř totožný s vnitřním průměrem válce, vratný pohyb je opět zajištěn vnější silou. [1]

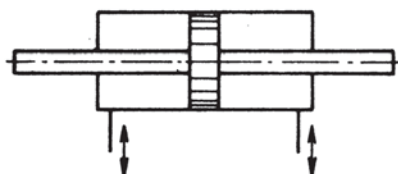
Dále tu máme hydromotory dvojčinné, kde tlak kapaliny působí na obě strany pístu (Obr. 5d). Speciálním provedením dvojčinných hydromotorů je s diferenciálním pístem (Obr. 5e), jehož průměr je poměrně velký. Poměr ploch pístu, na které působí kapalina, bývá mezi 1:2 a 1:3. [1]



Obr. 3 Schéma lineárního hydromotoru s jednostrannou pístnicí a) jednočinného, b) jednočinného s pružinou, c) jednočinného s plunžrem, d) dvojčinného, e) dvojčinného s diferenciálním pístem [1]

4.2 LINEÁRNÍ HYDROMOTORY S OBOUSTRANNOU PÍSTNICÍ

Hydromotory s oboustrannou (průběžnou) pístnicí (Obr. 6), se používají pro větší zdvihy, hlavně proto, že pístnice je namáhána pouze tahem nikoli tlakem. Tudíž u nich nemůže docházet ke vzpěru. [1]

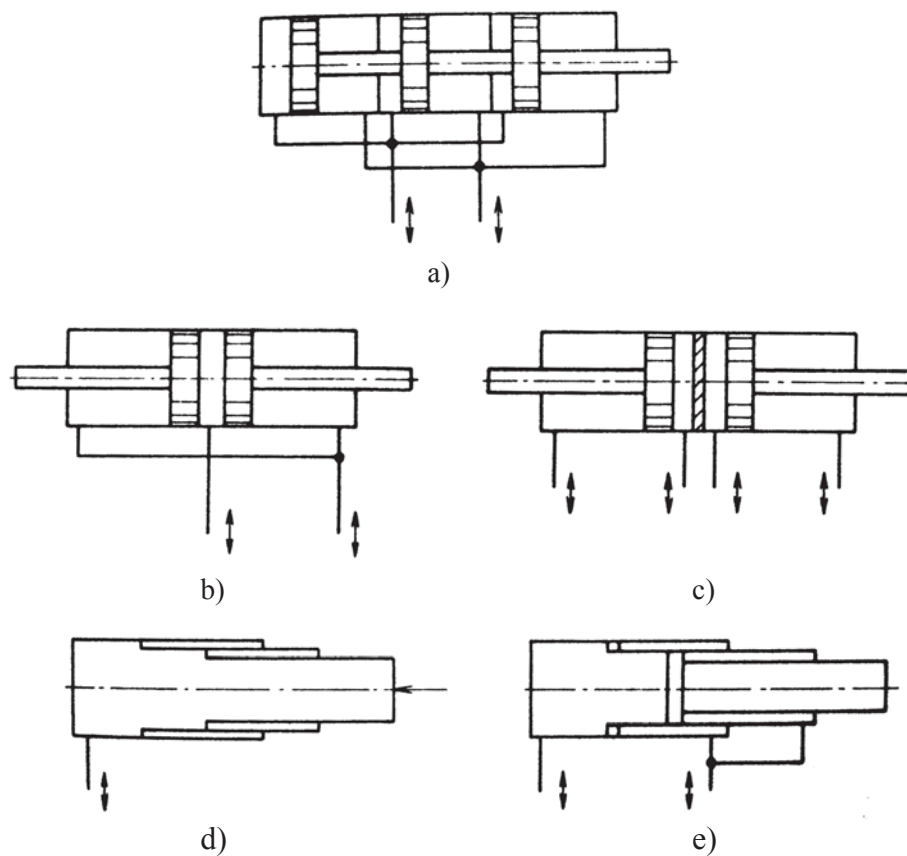


Obr. 4 Schéma lineárního hydromotoru s oboustrannou pístnicí [1]

4.3 LINEÁRNÍ HYDROMOTORY NĚKOLIKASTUPŇOVÉ

Tyto konstrukce hydromotorů se používají tam, kde je použití klasických konstrukcí hydromotorů nevýhodné. Třeba pro zvětšení potřebné pracovní síly na pístnici (Obr. 7a) nebo pro zvětšení zdvihu (Obr. 7b). Speciálním případem je s mezistěnou (Obr. 7c), kdy lze dosáhnout až třech různých zdvihů pístnice. [1]

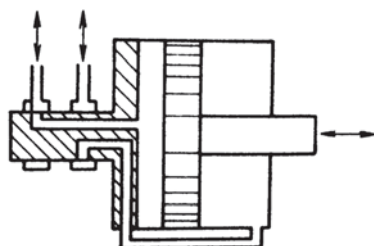
Nejznámějším typem několikastupňových hydromotorů pro zvětšení zdvihu je teleskopický. Nejčastěji se používá jednočinný (Obr. 7d), kdy vratný pohyb zajišťuje vnější síla, ale existují i dvojčinné (Obr. 7e). [1]



Obr. 5 Schéma lineárního hydromotoru několikastupňového a) pro zvětšení síly, b) pro zvětšení zdvihu, c) pro zvětšení zdvihu s mezistěnou, d) teleskopického jednočinného, e) teleskopického dvojčinného [1]

4.4 ROTUJÍCÍ HYDROMOTORY S LINEÁRNÍM POHYBEM (UPÍNACÍ VÁLCE)

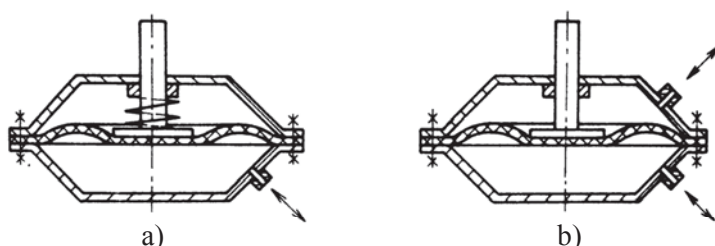
Rotující hydromotory (Obr. 8) se používají především pro upínání součástí na obráběcích strojích. U těchto hydromotorů je hydraulická kapalina přiváděna do rotujícího válce. Rozvod kapaliny rotuje společně s válcem a pístem. [1]



Obr. 6 Schéma rotujícího lineárního hydromotoru (upínací válec) [1]

4.5 MEMBRÁNOVÉ LINEÁRNÍ HYDROMOTORY

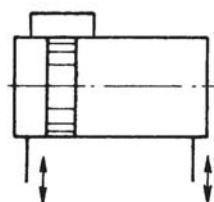
Membránové hydromotory se využívají pro velmi malé zdvihy (řádově pár desítek mm), kde by pístový hydromotor byl při požadovaných silách moc velký a měl by větší třecí síly. Tyto hydromotory jsou konstrukčně velice jednoduché, provádí se jak jednočinné (Obr. 9a), tak dvojčinné (Obr. 9b). Tato konstrukce se spíše využívá u pneumatických motorů [1]



Obr. 7 Schéma membránového lineárního hydromotorem a) jednočinný s pružinou, b) dvojčinný [1]

4.6 BEZPÍSTNICOVÉ LINEÁRNÍ HYDROMOTORY (RODLESS)

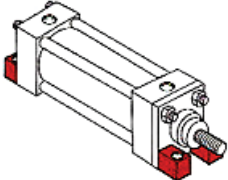
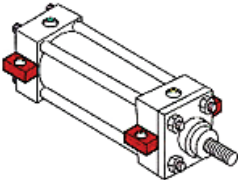
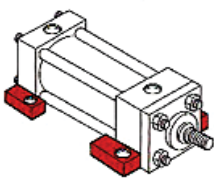
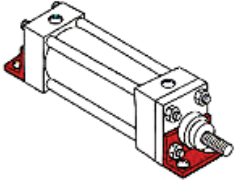
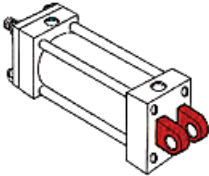
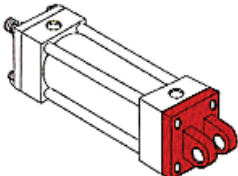
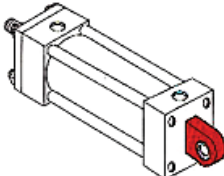
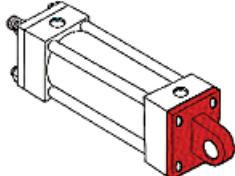
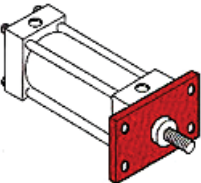
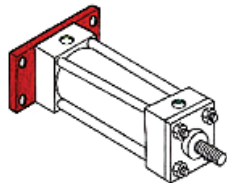
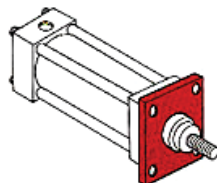
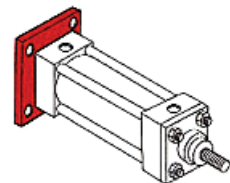
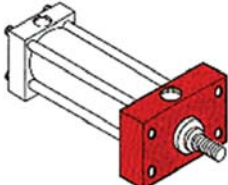
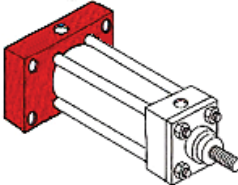
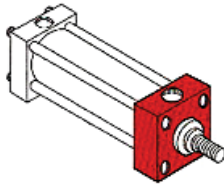
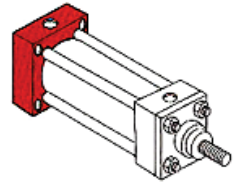
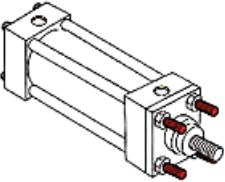
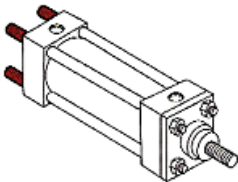
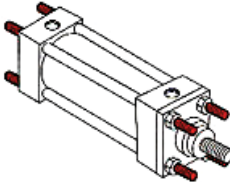
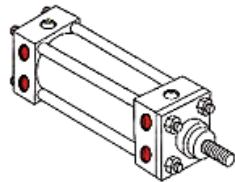
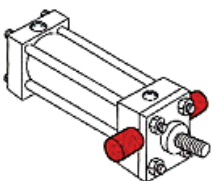
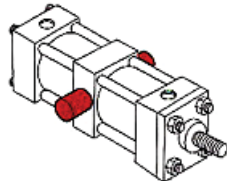
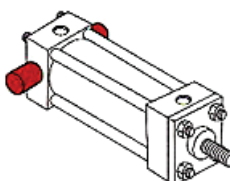
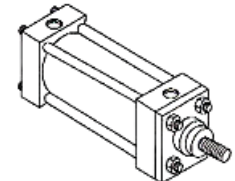
Dalším typem motorů, které se spíše využívají v pneumatice než v hydraulice, jsou bezpístnicové motory. Využívají se, tam kde je potřeba dlouhý zdvih a je omezen prostor. V hydraulice jsou tyto motory využívány spíše při nízkých tlacích. [1]



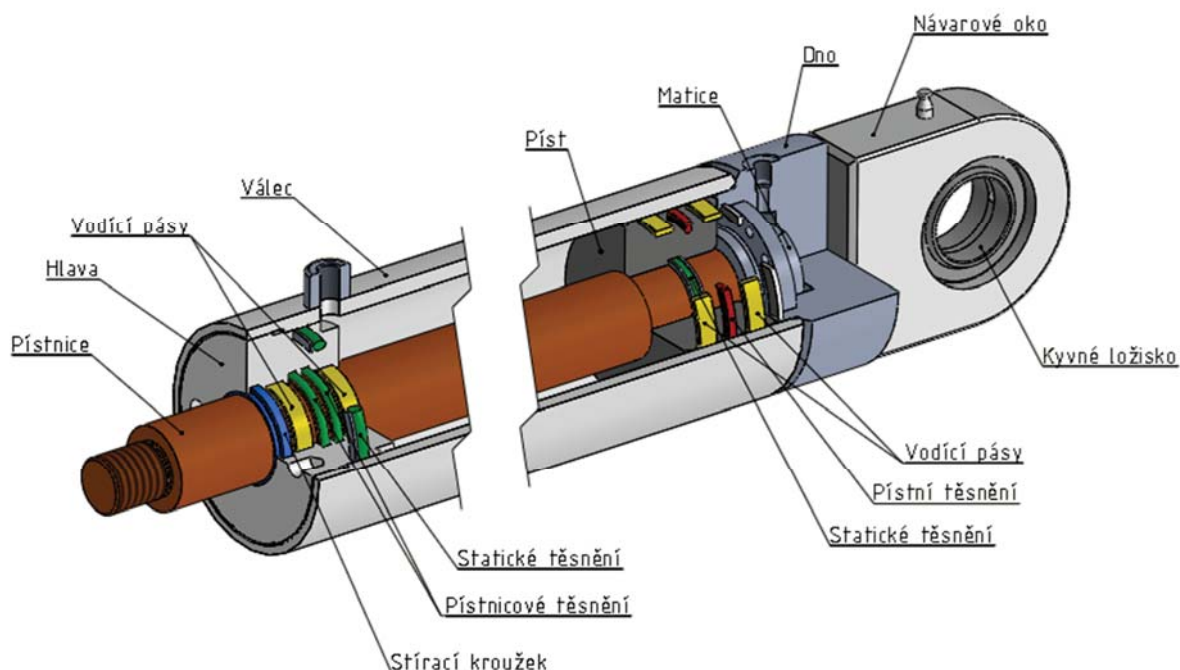
Obr. 8 Schéma bezpístnicového lineárního hydromotoru [1]

5 UPEVNĚNÍ LINEÁRNÍHO HYDROMOTORU

Tab. 2 Přehled upevnění lineárních hydromotorů [10]

Koncové patky	Osové patky	Základové patky	Koncové úhelníky
			
Přivařená vidlice u dna	Přimontovaná vidlice u dna	Přivažené oko u dna	Přimontované oko u dna
			
Obdélníková příruba u hlavy	Obdélníková příruba u dna	Čtvercová příruba u hlavy	Čtvercová příruba u dna
			
Obdélníkový blok u hlavy	Obdélníkový blok u dna	Čtvercový blok u hlavy	Čtvercový blok u dna
			
Prodloužené upínací tyče u hlavy	Prodloužené upínací tyče u dna	Prodloužené upínací tyče (u dna a hlavy)	Vnitřní závity na boku
			
Čep u hlavy	Čep ve středu	Čep u dna	Bez upevnění
			

6 KONSTRUKCE DVOJČINNÉHO LINEÁRNÍHO HYDROMOTORU



Obr. 9 Popis lineárního hydromotoru

6.1 VÁLEC

Válec je zpravidla bezešvá trubka, která je válcovaná, tažená nebo odlitá, příp. kovaná. Vnitřní povrch se honuje nebo lapuje kvůli snížení tření. Navíc se může i chromovat či nitridovat (vyšší tvrdost, odolnost proti otěru a korozi...). [1, 4]

6.2 PÍST

Používá se k přenosu hydraulické síly na pístnici, má na sobě pístní těsnění a vedení. Většinou je vyroben z jednoho kusu (výjimečně složen z několika částí). Jako materiál se používá ocel případně litina. U malých lineárních hydromotorů může být s pístnicí z jednoho kusu. [1, 4]

6.3 PÍSTNÍ TYČ (PÍSTNICE)

Vyrábí se z oceli, působí na ní vysoké namáhání na tah a tlak, musí být odolná proti vzpěru. Bývá povrchově kalena a broušena, příp. tvrdě chromována a leštěna, nebo superfinišována. Povrchová vrstva musí být tvrdá, tvarově stálá, odolná proti otěru, korozi... [1, 4]

6.4 Víko

Vyrábí se z litiny, oceli nebo lehkých neželezných kovů. S válcem jsou spojena buď, svorníky, šrouby, nebo zašroubováním do válce, případně na válec. Upevnění svorníky je výhodné pro stavebnicové řešení válců. Na připevnění vík má vliv také provozní tlak.[1]

Tab. 3 Přehled možností spojení vík s válcem [13, 14, 15]

Svorníky	Šrouby	Šroubovacím víkem
		

6.5 TĚSNĚNÍ

Pro výběr správného těsnění jsou důležitá tato kritéria:

- tlak
- teplota
- kluzná rychlost
- těsněné médium





Požadavky na těsnění

- těsnost
- dlouhá životnost
- minimální otěr, nízké tření
- dobrá elasticita při nízkých i vysokých teplotách
- funkční bezpečnost
- snášenlivost s tlakovými kapalinami
- jednoduchá montáž
- cenově výhodná konstrukce [9]

6.5.1 STATICKÁ TĚSNĚNÍ

Statická těsnění jsou velice rozšířená, snadno použitelná a nenákladná. Ve výjimečných a nenáročných situacích lze využít i jako dynamické, ale musí být zajištěno velmi dobré mazání. [20]

Tab. 4 Přehled statických těsnění [9]

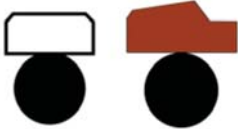










O-kroužek a X-kroužek	Usit-kroužek	Polyuretan	TPE
			

6.5.2 HYDRAULICKÁ TĚSNĚNÍ

PÍSTNÍ TĚSNĚNÍ

Těsnění pístu slouží k dynamickému těsnění na vnějším a statickému na vnitřním průměru a utěsňují mezeru mezi pístnicí a víkem hydromotoru. [20]

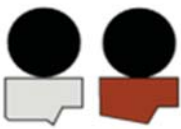






Tab. 5 Přehled pístních těsnění [9]

PTFE / O-kroužek	TPE / O-kroužek	Polyuretan / O-kroužek	Polyamid / NBR
			
TPE / NBR/ Acetal	PTFE / NBR/ Nylon	Polyuretan / NBR / Acetal	NBR / Nylon / Acetal
			
Hythane®	NBR / Tkanina / Acetal	NBR / Tkanina	
			

PÍSTNICOVÁ TĚSNĚNÍ

Těsnění pístnice slouží k dynamickému těsnění na vnitřním a statickému na vnějším průměru a utěsňují mezeru mezi pístnicí a víkem hydromotoru. [20]








Tab. 6 Přehled pístnicových těsnění [9]

PTFE / O-kroužek	TPE / O-kroužek	Hythane® / NBR / Acetal	Hythane® / Acetal
			
Hythane®		NBR / Tkanina / Acetal	NBR / Tkanina
			

STÍRACÍ KROUŽKY

Stírací kroužky slouží ke stírání nečistot, cizích částic, třísek a vlhkosti tak aby se nedostali dovnitř hydromotoru a nedošlo ke znečištění hydraulické kapaliny a poškození vodících kroužků, těsnění a dalších součástí. Naopak nesmí odstranit mazací film. [20]



Tab. 7 Přehled stíracích kroužků [9]

PTFE/bronz + O-kroužek	Polyester	Polyuretan	NBR
			
Hythane®		Polyuretan / ocel	NBR / ocel
			

6.6 VODÍCÍ PÁSY (KROUŽKY)

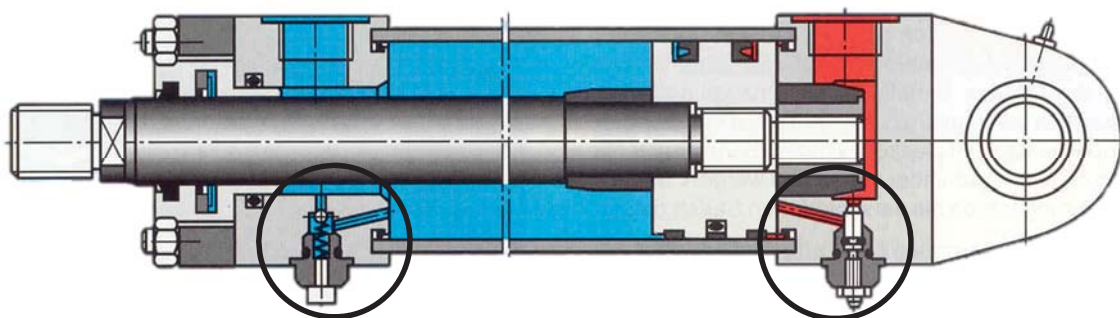
Vodící pásy slouží k vedení pístu a pístnice a zachycují příčné síly. Velice důležité je jejich správné dimenzování na maximální působící radiální sílu. Vodící pásy se umísťují před těsnění, kvůli dobrému mazání. Pokud je použito kovové vedení, je potřeba skosit všechny hrany a odstranit otřepy, aby nedocházelo k jejich odlamování. U pístnicového vedení se doporučuje vytvoření spirálové drážky, aby nedocházelo ke vzniku vlečeného tlaku na pístnicovém těsnění. [9, 20]

Tab. 8 Přehled vodících pásů [9]

Polyesterová tkanina	PTFE + Bronz
	

6.7 TLUMENÍ

Tlumení se používá hlavně při rychlostech pístu větších než 0,1 m/s, aby se zabránilo narážení pístu. Princip spočívá ve zvětšování odporu proti pohybu u koncové polohy pístu na straně výtoku kapaliny. Nejčastějším způsobem tlumení je pomocí vestavěného zpětného ventilu (Obr. 12), kdy dochází k tlumení pouze při výtoku kapaliny. Další možností je bez zpětného ventilu, kdy je pohyb tlumen jednak při konci pohybu, tak i na jeho počátku, což není moc žádoucí, ale přesto používané.[1, 6]



Obr. 10 Tlumení hydraulického hydromotoru pomocí zpětných ventilů[6]

6.8 MONTÁŽ A SKLADOVÁNÍ

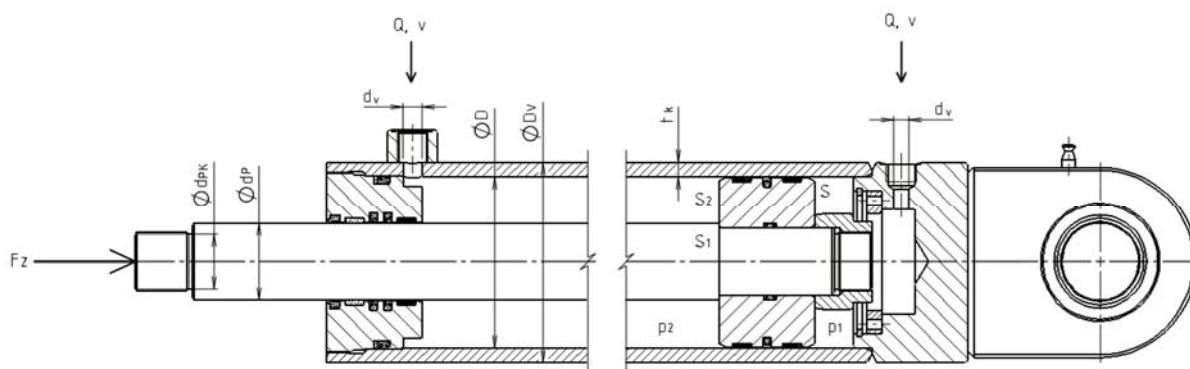
6.8.1 DOPORUČENÍ PRO MONTÁŽ

- Správné dimenzování pístových a pístnicových vedení, může dojít k poškození válce a pístnice kvůli boční síle, která zatěžuje vedení.
- Hrany, po kterých klouže těsnění, musí být zaobleny a bez otřepů, hlavně drážky a závitů.
- Vyčištění válce a pístnice od zbytků kovů a nečistot, zástavbový prostor pro těsnění bez poškození (může vzniknout netěsnost, poškodit nebo dokonce zničit těsnění).
- V případě malého rozdílu průměru mezi závitem a těsněním použití vhodné ochrany přes závit nebo pomocného nářadí.
- Kovové pomocné nářadí hladké bez ostrých hran a záseků, aby nedošlo k poškození povrchu.
- Kontrola správnosti typů, rozměrů a materiálů těsnění. Dodržování montážních doporučení pro jednotlivé typy těsnění.
- Skládování těsnění podle stanovených zásad, zamezení poškození. Nejlépe ponechání těsnění v ochranném balení do doby montáže.
- Před montáží promazání těsnění a kluzných ploch kovových částí.
- Zamezení jednostranné deformaci těsnění, v případě předmontování těsnění na jednotlivé součásti.
- Odstranění kovových částic a dalších nečistot z hydraulického systému.
- Pečlivé vyčištění všech trubkových vedení včetně hadic. Nebezpečí poruch. [9]

6.8.2 DOPORUČENÍ PRO SKLADOVÁNÍ TĚSNĚNÍ

- a) Teplota – do 25°C, před montáží ohřát na cca 30°C, aby nedocházelo k poškození.
- b) Vlhkost – pod 60% v bezprašném prostředí
- c) Světlo – Chránit před přímým slunečním svitem a světlem s vysokým ultrafialovým zářením.
- d) Kyslík, ozón – Chránit před proudícím vzduchem v ochranných obalech, nejlépe vzduchotěsných. Neskladovat v místě zařízení vydávajících jiskry a výboje (elektromotory, zařízení vysokého napětí...)
- e) Chemikálie – Neskladovat v prostoru s chemikáliemi nebo jejich výpary, zejména s organickými ředidly.
- f) Tvarové deformace – Skladovat tak aby nedocházelo k pnutí, deformacím změnám délky atp. U těsnění velkých rozměrů skladovat vodorovně na rovné ploše. [9]

7 VÝPOČET LINEÁRNÍHO HYDROMOTORU



Obr. 11 Schéma lineárního hydromotoru

7.1 ZADANÉ PARAMETRY

Pracovní tlak $p_2 = 20 \text{ MPa}$

Zdvihací síla $F_Z = 80 \text{ kN}$

Zdvih $h = 550 \text{ mm}$

Rychlost pístu $v = 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

7.2 PÍSTNICE

Nejprve vypočteme celkovou sílu F_S , kterou bude muset lineární hydromotor vykonat, aby překonal odpor proti pohybu F_O , který vzniká vlivem těsnění, za předpokladu $F_O = 0,1 \cdot F_Z$, a vykonal požadovanou sílu F_Z . [4]

$$F_S = F_O + F_Z = 1,1 \cdot F_Z = 1,1 \cdot 80000 = 88000 \text{ N} = 88 \text{ kN} \quad [4] \quad (1)$$

Dále z meze kluzu Re voleného materiálu pístnice a bezpečnosti k , vypočteme dovolené napětí σ_D .

Materiál pístnice: 14220.3 - 16MnCr5 ($Re_1 = 600 \text{ MPa}$)

Bezpečnost $k = 3$

$$\sigma_{D1} = \frac{Re_1}{k_1} = \frac{600}{3} = 200 \text{ MPa} \quad [4] \quad (2)$$

Poté z dovoleného napětí σ_D a celkové síly F_S vypočteme kritický průměr pístnice d_{PK} .

$$\sigma_D \geq \frac{F_S}{S_1} = \frac{4 \cdot F_S}{\pi \cdot d_{PK}^2} \Rightarrow d_{PK} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F_S}{\pi \cdot \sigma_{D1}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8800}{\pi \cdot 200}} = 23,67 \text{ mm} [4] \quad (3)$$

Vzhledem k průměru d_{PK} volím závit M30x1,5, pro který platí: $d_{PK} \leq d_3$ a průměr drážky závitu $d_{PK} \leq d_F$. Následně volím průměr pístnice $d_P = 40 \text{ mm}$.

7.2.1 KONTROLA NA VZPĚR

Při kontrole na vzpěr nejprve vypočteme kvadratický moment průřezu J z průměru pístnice d_1 .

$$J = \frac{\pi \cdot d_P^4}{64} = \frac{\pi \cdot 40^4}{64} = 1,26 \cdot 10^5 \text{ mm}^4 [8] \quad (4)$$

Poté z průměru pístnice d_P vypočteme její průřez S_1 .

$$S_1 \geq \frac{\pi \cdot d_P^2}{4} = \frac{\pi \cdot 40^2}{4} = 1256,64 \text{ mm}^2 [8] \quad (5)$$

Dále vypočteme poloměr setrvačnosti i z kvadratického průřezu J a průřezu S_1 .

$$i = \sqrt{\frac{J}{S_1}} = \sqrt{\frac{1,26 \cdot 10^5}{1256,64}} = 10 \text{ mm} [8] \quad (6)$$

Následně vypočteme štíhlost prutu λ z délky pístnice l a poloměru setrvačnosti i .

$$\lambda = \frac{l}{i} = \frac{700}{10} = 70 [8] \quad (7)$$

Poté podle Hookeova zákona stanovíme kritickou štíhlost λ_{kr} .

$$\lambda_{kr} = \alpha \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_{D1}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{200}} = 101,8 [8] \quad (8)$$

Jelikož je kritická štíhlost λ_{kr} větší než štíhlost prutu λ nedochází ke vzpěru a použijeme k výpočtu kritické síly F_{kr} následující vzorec.

$$F_{kr} = S_1 \cdot \sigma_{D1} = 1256,64 \cdot 200 = 251327 \text{ N} = 251,33 \text{ kN} [8] \quad (9)$$

Pokud by byla kritická štíhlost λ_{kr} menší než štíhlost prutu λ docházelo by ke vzpěru a použili bychom k výpočtu kritické síly F_{kr} tento vzorec.

$$F_{kr} = \alpha^2 \cdot \frac{E \cdot J}{l^2} \quad [8] \quad (10)$$

Pístnice vyhověla kontrole na vzpěr, jelikož $F_Z < F_{kr}$.

7.3 PÍST

Při výpočtu pístu vycházíme z rovnováhy sil v hydromotoru.

$$p_1 \cdot S - p_2 \cdot S_2 + F_O + F_Z = 0 \quad [4] \quad (11)$$

Jelikož při pohybu pístu působí tlak vždy pouze z jedné p_1 nebo druhé p_2 strany, tudíž na opačné straně je vždy nulový. Při zpětném pohybu působí tlak na menší plochu než při dopředném, kvůli pístnici. Využijeme proto při výpočtu průměru pístu D , tlak p_2 , který působí na plochu S_2 , ze strany pístnice, aby byla zajištěna požadovaná síla i při zpětném pohybu. [4]

$$p_2 \cdot S_2 + F_O + F_Z = 0 \quad [4] \quad (12)$$

Z této rovnice vypočteme potřebnou plochu pístu S_2 .

$$S_2 \geq \frac{1,1 \cdot F_Z}{p_2} = \frac{1,1 \cdot 80000}{20} = 4400 \text{ mm}^2 \quad [4] \quad (13)$$

Následně tyto průřezy S_1 a S_2 sečteme a získáme celkový průřez pístu.

$$S = S_1 + S_2 = 1256,63 + 4400 = 5656,64 \text{ mm}^2 \quad [4] \quad (14)$$

Z tohoto průřezu vypočteme potřebný průměr pístu D .

$$D \geq \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5656,64}{\pi}} = 84,87 \text{ mm} \quad [4] \quad (15)$$

Průměr pístu volím $D = 90 \text{ mm}$

7.4 SKUTEČNÉ HODNOTY

V důsledku zaokrouhlování, je potřeba přepočítat sílu F_Z

$$S_S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 90^2}{4} = 6361,73 \text{ mm}^2 \quad [4] \quad (16)$$

$$S_{2S} = S_S - S_1 = 5105,09 \text{ mm}^2 \quad [4] \quad (17)$$

$$F_{ZS} = \frac{p_2 \cdot S_{2S}}{1,1} = \frac{20 \cdot 2827,44}{1,1} = 92819,78 \text{ N} = 92,82 \text{ kN} \quad [4] \quad (18)$$

7.5 REDUKOVANÝ TLAK p_1

Jelikož plochy pístu S_2 a S_1 nejsou stejné z důvodu pístnice na straně S_2 . Musí být tlak p_1 zredukovaný, aby při dopředném pohybu vykonával sílu F_Z . Což se provádí pomocí redukčního ventilu. Vypočteme ho pomocí rovnováhy sil v hydromotoru

$$p_1 \cdot S_S - p_2 \cdot S_{2S} + F_O + F_Z = 0 \quad [4] \quad (19)$$

$$p_1 \cdot S_S = -F_O - F_Z \quad [4] \quad (20)$$

$$p_1 = \frac{1,1 \cdot F_{ZS}}{S_S} = \frac{1,1 \cdot 92819,78}{6361,73} = 16,05 \text{ MPa} \quad [4] \quad (21)$$

7.6 VÁLEC

Při výpočtu tloušťky stěny válce vycházíme z dovoleného napětí, které vypočteme z meze kluzu Re voleného materiálu válce 11 500 – E 295 ($Re_2 = 500 \text{ MPa}$) a bezpečnosti k_2 .

$$\sigma_{D2} = \frac{Re_2}{k_2} = \frac{500}{3} = 167 \text{ MPa} \quad [4] \quad (22)$$

$$t_k = \frac{p_2 \cdot D}{2 \cdot (\sigma_{D2} - p_2)} = \frac{20 \cdot 90}{2 \cdot (167 - 20)} = 6,14 \text{ mm} \quad [4] \quad (23)$$

Z tloušťky stěny vypočteme vnější průměr válce D_V .

$$D_V = D + 2 \cdot t_k = 90 + 2 \cdot 6,14 = 102,27 \text{ mm} \quad (24)$$

Vnější průměr válce volím $D_V = 105 \text{ mm}$

7.7 PROVOZNÍ PARAMETRY

Volba hydraulického oleje.

HM 46: Viskozita $\vartheta = 46 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

Nejprve vypočteme čas t , za který se píst přesune z jedné koncové polohy do druhé.

$$v = h \cdot t \Rightarrow t = \frac{l}{v} = \frac{0,55}{2} = 0,275s \quad [6] \quad (25)$$

Poté vypočteme objem V_1 , který je potřeba zaplnit hydraulickou kapalinou.

$$V_1 = S_s \cdot h = 6361,73 \cdot 550 = 3,5 \cdot 10^6 mm^3 = 3,5l \quad [6] \quad (26)$$

Následně zjistíme potřebný průtok Q .

$$Q = \frac{V_1}{t} = \frac{3,5}{0,275} = 12,72l \cdot s^{-1} \quad [6] \quad (27)$$

Dále vypočteme rychlost kapaliny v potrubí v_k .

$$v_k = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot d_v^2}{4}} = \frac{12,72 \cdot 10^{-3}}{\frac{\pi \cdot (8 \cdot 10^{-3})^2}{4}} = 253,13m \cdot s^{-1} \quad [6] \quad (28)$$

A nakonec vypočteme Reynoldsovo číslo Re_k , podle kterého zjistíme typ proudění.

$$Re_k = \frac{v_k \cdot d_v}{\vartheta} = \frac{253,13 \cdot 8}{46 \cdot 10^{-6}} = 4402 \quad [6] \quad (30)$$

Podle Reynoldsova čísla $Re_{k1} > 1800$ vychází turbulentní proudění.


7.8 TĚSNĚNÍ

Při volbě těsnění jsem především vycházel z velikosti tlaku p_2 a rychlosti v .

7.8.1 PÍSTNÍ TĚSNĚNÍ

Jako pístní těsnění jsem zvolil kroužek K 54 od firmy Hennlich.


Tab. 9 Specifikace pístního těsnění [9]

K 54	
	Materiál: PTFE / O-kroužek
	Max.tlak: 400 bar
	Teplotní rozsah: -30 °C/+100 °C
	Max. rychlost: 4,0 m/s

7.8.2 PÍSTNICOVÉ TĚSNĚNÍ

Jako pístnicové těsnění jsem zvolil 2 kroužky S 16 od firmy Hennlich.


Tab. 10 Specifikace pístnicového těsnění [9]

S 16	
	Materiál: PTFE / O-kroužek
	Max.tlak: 400 bar
	Teplotní rozsah: -30 °C/+100 °C
	Max. rychlost: 4,0 m/s

7.8.3 STÍRACÍ KROUŽEK

Jako stírací kroužek jsem zvolil kroužek A 831 od firmy Hennlich.



Tab. 11 Specifikace stíracího kroužku [9]

A 831	
	Materiál: Polyuretan
	Max.tlak: -
	Teplotní rozsah: -30 °C/+100 °C
	Max. rychlost: 4,0 m/s

7.8.4 VODÍCÍ PÁSY

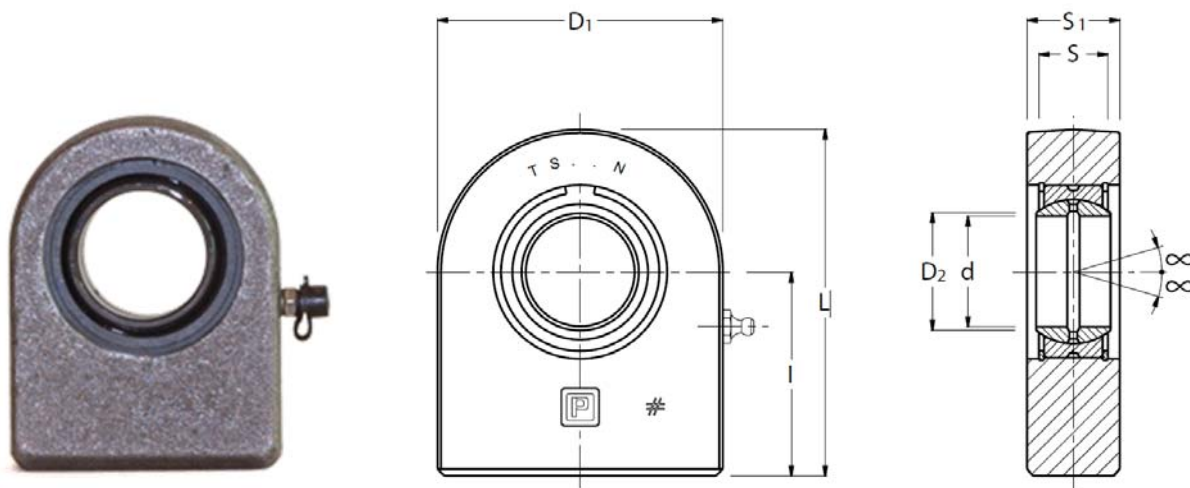
Jako vodící pásy jsem zvolil 3 pásy F 506, 2 na pístu a 1 na pístnici, a 1 pás F 87 na pístnici.

Tab. 12 Specifikace vodících pásů [9]

F 506	
	Materiál: Polyesterová tkanina
	Max.tlak: -
	Teplotní rozsah: -40 °C/+120 °C
	Max. rychlost: 5,0 m/s
F 87	
	Materiál: Polyesterová tkanina
	Max.tlak: -
	Teplotní rozsah: -60 °C/+200 °C
	Max. rychlost: 5,0 m/s

7.9 UPEVNĚNÍ HYDROMOTORU

Jako upevnění hydromotoru je voleno kyvné oko TS 40 N od firmy Pavarini, které bude přivařeno ke dnu válce.



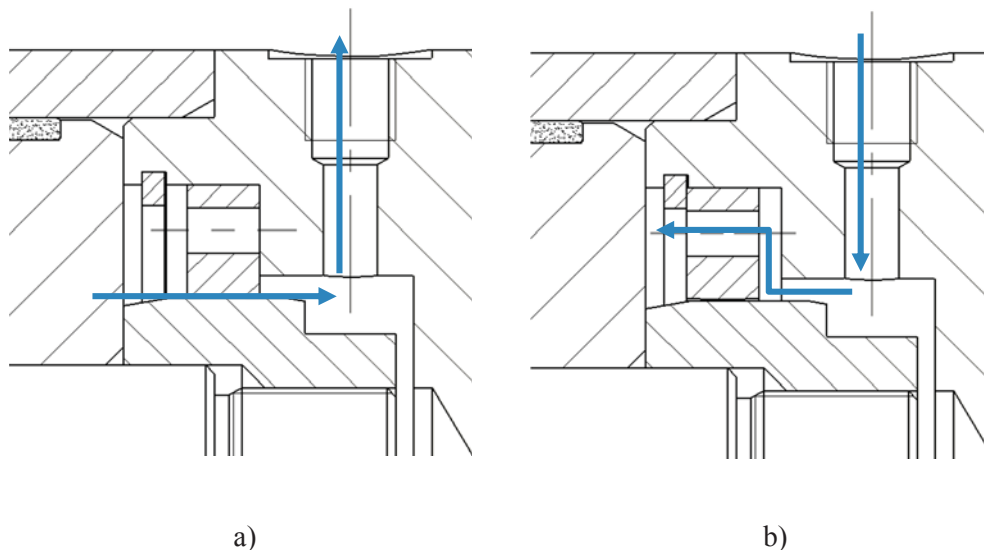
Obr. 12 Kyvné oko TS 40 N [21]

Tab. 1 Specifikace kyvného oka [21]

TS 40 N													
$\varnothing d$	Tolerance		S	D_2	l	D_1	S_1	L	Únosnost		Radiální vůle	Kyvný úhel α	Hmotnost
	$\varnothing d$	S							Dynamická	Statická			
									C	C_o			
mm									kN		mm	°	kg
40	0 −0,012	0 −0,12	28	45	69	100	35	119	100	305	0,043 ÷ 0,12	7	2,42

7.10 TLUMENÍ HYDROMOTORU V KONCOVÉ POLOZE

Lineární hydromotor je tlumen při zpětném chodu (Obr. 15a) pomocí matice, která zajede do tlumicího kroužku, při vyjíždění (Obr. 15b) se tento kroužek opře o pojistný kroužek (segerovku) a kapalina prochází otvory a tlačí na píst, tudíž nedochází k tlumení při vyjíždění.



Obr. 13 Tlumení lineárního hydromotoru a) zpětný pohyb, b) dopředný pohyb

7.11 VÍKO A DNO VÁLCE

Víko je použito šroubovací se závitem M95x2 z oceli 11 500 – E 295 ($Re_2 = 500\text{MPa}$) a dno je z oceli 11 523 – S355J0 ($Re_3 = 500\text{MPa}$) a je k válci přivařeno svařem V.

Parametry závitu: $d_1 = 92,835\text{mm}$

$$d = 95\text{mm}$$

$$P = 2\text{mm}$$

Nejprve vypočteme potřebný počet závitů z .

$$z = \frac{4 \cdot F_{zs}}{\pi \cdot (d^2 - d_1^2) \cdot \sigma_{D2}} = \frac{4 \cdot 92819,78}{\pi \cdot (95^2 - 92,835^2) \cdot 167} = 1,74 [7] \quad (31)$$

Dále z počtu závitů z vypočteme jeho délku l_z .

$$l_z = z \cdot P = 1,74 \cdot 2 = 3,49\text{mm} [7] \quad (32)$$

Délku závitu volím 13mm .

ZÁVĚR

V této bakalářské práci jsem se zabýval jednak rešerší v oblasti lineárních hydromotorů, a dále pak vlastnímu konstrukčnímu návrhu dvojčinného lineárního hydromotoru. V rešerší najde srovnání hydrauliky s pneumatikou, přehled hydraulických prvků, ale zvláště je zaměřená na lineární hydromotory, jejich typy, rozdělení, konstrukci (z čeho všeho se lineární hydromotor skládá) a zvláštní kapitola je věnována těsnění lineárních hydromotorů.

V další části jsem se zaměřil na vlastní návrh, výpočty a vlastní konstrukci dvojčinného lineárního hydromotoru podle zadaných parametrů. Při výpočtu provozních parametrů jsem narazil na vyšší rychlost v potrubí než je obvyklá. Tudíž jsou dvě možnosti řešení, pokud by daná rychlost v praxi nevyhovovala, a to buď zvětšit průměr vtoku, nebo se spokojit s nižší rychlostí posuvu lineárního hydromotoru. Způsob tlumení jsem volil poněkud netypický, především proto, že jednosměrné ventily, co jsem nacházel v katalozích firem, byly příliš dlouhé oproti průměru konstruovaného hydromotoru. Tlumení se nedá regulovat a jeho použitelnost by byla ověřena až v praxi. Těsnění jsem volil taková, aby vydrželi i rychlost vyšší než je požadovaná 2m/s kvůli bezpečnosti, a to je 4m/s.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] PIVOŇKA, Josef. Tekutinové mechanismy. 1. vyd. Praha: SNTL, 1987, 623 s .
- [2] VAŘURA, Jaroslav. Hydraulické a pneumatické mechanismy. Vyd. 2. Brno: Ediční středisko VUT, 1987, 171 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně).
- [3] ŠEBESTA, Stanislav a Jozef TURZA. *Teória tekutinových mechanizmov*. 1. vyd. Bratislava: Slovenská vysoká škola technická v Bratislave, 1989, 124 s. ISBN 80-227-0120-3.
- [4] VANĚK, Václav. *Základy konstruování: učební podklady pro cvičení*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2010, 107 s. ISBN 978-80-7043-964-7.
- [5] HELLER, Josef. Pohonové systémy II: učební podklady pro cvičení. Vyd. 2. Praha: ČVUT, 1990, 215 s. ISBN 80-010-0455-4.
- [6] ŠKOPÁN, M.: Hydraulické převody strojů. Elektronická verze, VUT Brno 2004
- [7] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Brno: VUTUM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [8] *Mechanika těles: pružnost a pevnost I*. 3., přeprac. vyd., v Akademickém nakl. CERM 1. Brno: CERM, 2004, 287 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-2592-X.
- [9] HENNLICH [online]. 2015 [cit. 2015-02-09]. Dostupné z: <http://www.hennlich.cz/>
- [10] *Peninsular Cylinder Co.* [online]. 2002-2004 [cit. 2015-03-05]. Dostupné z: <http://www.peninsularcylinders.com/>
- [11] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 1. vyd. Úvaly: Albra, 2003, xv, 865 s. ISBN 80-864-9074-2.
- [12] DOUGAN, David. *The great gun-maker: the story of Lord Armstrong*. Newcastle upon Tyne: Graham, 189 p., 16 plates. ISBN 09-028-3331-6.
- [13] *Manufacturers Directory - manufacturer-union.com* [online]. 2011 [cit. 2015-03-12]. Dostupné z: <http://www.manufacturer-union.com>
- [14] *Hydraulic* [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z: <http://hydraulic-parts.blogspot.cz/>
- [15] *Herbert Hänchen - Hydraulic specialists for hydraulic cylinders* [online]. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z: <http://www.haenchen-hydraulic.com/>
- [16] *HYDRAULICS sro: Hydraulické válce, přesné trubky, chromované tyče - HYDRAULICS s.r.o* [online]. 2011 [cit. 2015-03-13]. Dostupné z: <http://www.hydraulics.cz>
- [17] *Hydraulika, hydraulické filtry, hydraulické čerpadlo, hydraulická čerpadla, prodej hydrauliky* [online]. 2015 [cit. 2015-03-13]. Dostupné z: <http://www.hydroma.cz>

- [18] *EAMOS - výukový systém* [online]. 2002-2015 [cit. 2015-03-13]. Dostupné z: <http://www.eamos.cz>
- [19] *Pedkov - opravy hydraulických čerpadel a hydromotorů* [online]. 2010 [cit. 2015-03-13]. Dostupné z: <http://www.pedkov.cz/>
- [20] *Home | timeseal.cz* [online]. [cit. 2015-03-13]. Dostupné z: <http://www.timeseal.cz>
- [21] *Korbel – ložiska, s. r. o.* [online]. 2015 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.korbel-loziska.cz/>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

D	[mm]	průměr pístu
d	[mm]	jmenovitý (velký) průměr závitu
d ₁	[mm]	malý průměr závitu
d _p	[mm]	průměr pístnice před pístem
d _{pk}	[mm]	kritický průměr pístnice
d _v	[mm]	vnitřní průměr potrubí
D _v	[mm]	vnější průměr válce
E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
F _{kr}	[N]	kritická zatěžující síla
F _O	[N]	odpor proti pohybu
F _S	[N]	skutečná síla
F _Z	[N]	síla na zátěž
F _{ZS}	[N]	skutečná síla na zátěž
h	[mm]	zdvih
i	[mm]	poloměr setrvačnosti
J	[mm ⁴]	kvadratický moment průřezu
k ₁	[-]	bezpečnost
k ₂	[-]	bezpečnost
l _z	[mm]	délka závitu
P	[mm]	rozteč závitu
p ₁	[MPa]	tlak na píst
p ₂	[MPa]	tlak na píst ze strany pístnice
Q	[l·s ⁻¹]	průtok kapaliny
Re ₁	[MPa]	mez kluzu v tahu
Re ₂	[MPa]	mez kluzu v tahu
Re ₃	[MPa]	mez kluzu v tahu
Re _k	[-]	Reynoldsovo číslo
S	[mm ²]	plocha celého pístu
S ₁	[mm ²]	plocha pístnice
S ₂	[mm ²]	plocha pístu
S _{2S}	[mm ²]	skutečná plocha pístu
S _S	[mm ²]	skutečná plocha celého pístu

t	[s]	čas
t_k	[mm]	tloušťka stěny válce
v	[m·s ⁻¹]	rychlost pístu
V_1	[l]	objem kapaliny ve válci
v_k	[m·s ⁻¹]	rychlost kapaliny v potrubí
z	[-]	počet závitů
α	[-]	koeficient zatížení
ϑ	[mm ² ·s ⁻¹]	viskozita
λ	[-]	štíhlost prutu
λ_{kr}	[-]	kritická štíhlost prutu
σ_{D1}	[MPa]	dovolené napětí
σ_{D2}	[MPa]	dovolené napětí

SEZNAM PŘÍLOH

Výkresová dokumentace

Výkres sestavení – Lineární hydromotor	3-3PSSZ/2-1/0
Seznam položek – Lineární hydromotor	4-3PSSZ/2-1/00
Výkres součásti – Dno hydromotoru	4-3PSSZ/2-1/1/2
Výkres součásti – Hlava hydromotoru	3-3PSSZ/2-1/3